

# 城市突发公共安全事件人员相对脆弱性研究\*

张永领

(河南理工大学 应急管理学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:** 设计了基于人员相对脆弱性判断和经验正交函数分解的城市突发事件人员相对脆弱性研究方法, 以河南省焦作市为例, 将城市划分为8个风险区, 选择20项脆弱性影响因子, 首先对每个脆弱性因子在8个风险区的人员脆弱性构造判断矩阵, 然后以判断矩阵为基础进一步构造人员相对脆弱性矩阵, 最后用经验正交函数方法研究突发事件人员相对脆弱性, 分析突发事件人员脆弱性影响因子的区域差异, 探讨了脆弱性因子和风险区之间的组合特征及变化规律, 为城市人员脆弱性的研究提供一种新的思路, 并为突发事件人员脆弱性的治理提供科学依据。

**关键词:** 城市; 突发事件; 人员; 脆弱性; 公共安全; 河南焦作

**中图分类号:** C912; X45   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1000-811X(2010)03-0090-06

城市不仅是政治、经济和文化中心, 而且是人口、财富和社会活动高度密集的地方, 同时也是各类突发事件最密集的地区, 一旦发生突发事件, 其后果往往是灾难性的, 社会影响常常比较恶劣, 如2000年12月洛阳特大火灾事故、2004年2月北京密云踩踏事故、2007年7月济南特大城市洪水、2009年6月成都9路公交车燃烧事件等, 都造成了巨大的人员伤亡、严重的经济损失和恶劣的社会影响。城市各类公共安全事件的发生并不是偶然的, 一方面是由于城市面临着随时都可能爆发的各类风险<sup>[1-2]</sup>, 另一方面则是由于城市系统存在着脆弱性。灾害发生是不可避免的, 但是城市的脆弱性却是可以消除或减小的, 尤其是人员的脆弱性。最大限度地减少突发事件造成的人员伤亡, 不仅是应急管理研究的核心内容之一, 也是社会各阶层普遍关注的问题。

1970年代 Gilbert F White 首次提出了脆弱性的概念<sup>[3]</sup>, 之后被广泛应用于灾害学、生态学、金融学、社会学和经济学等许多方面, 尤其是近年来对突发事件的社会脆弱性的关注越来越多, 如 Fekete 研究了德国河流洪水的社会脆弱性指标, 指出老人、低收入人员以及城市居民是河流洪水的高风险群体<sup>[4]</sup>, Adger 研究了海岸带地区气候变化和极端气候情况对人类的影响<sup>[5]</sup>, Ingrid 等研究了在气候变化的背景下, 洪水和社会脆弱性的关系<sup>[6]</sup>, Christopher 等则关注火山环境下的人类社

会的脆弱性<sup>[7]</sup>。在国内, 葛怡以长沙地区为例研究了洪水灾害的社会脆弱性问题<sup>[8]</sup>; 王瑛研究了我国农村地震灾害系统的脆弱性并探讨了相应的对策<sup>[9]</sup>; 李小云等通过设计农户生计资产量化的研究方法, 对农户脆弱性进行了定量研究<sup>[10]</sup>; 喻小红等分析了城市脆弱性的表现形式并给出了脆弱性的减灾策略<sup>[11]</sup>; 杨立兵等运用主成分分析方法对企业应急管理的脆弱性进行了研究<sup>[12]</sup>, 他们都在不同程度上关心人的安全和脆弱性问题。另外许多研究者对城市应急能力进行评价研究<sup>[13-14]</sup>, 应急能力评价也是减小城市应急管理的脆弱性、提高突发事件应对能力的重要措施。

脆弱性研究对于增加抵抗风险能力、减少突发事件造成的损失具有重要意义, 然而在脆弱性分析和评估方面却面临着很大挑战, 一是影响因子的选择及其权重的确定, 二是承灾体的脆弱性是针对某种级别的致灾因子而言的, 同一承灾体对不同级别的致灾因子表现出来的脆弱性也不相同, 而这个问题在目前的脆弱性研究中往往被忽略。对于城市的相对脆弱性研究则可克服上述困难, 更容易实现脆弱性的分析。另外, 任何城市的防灾减灾水平以及突发事件应急能力都不是无限的, 城市不同区域间的相对脆弱性研究可以为防灾减灾优先次序的选择、应急管理水平的提高、应急物质准备以及应急预案的制定提供参考依据。

现代城市是人口高度密集的地区, 无论哪种

\* 收稿日期: 2010-01-22

基金项目: 河南理工大学博士基金(B2008-68); 河南理工大学青年骨干教师基金(649096)

作者简介: 张永领(1975-), 男, 山东成武人, 博士, 主要从事应急管理、气候与环境研究. E-mail: zhyongling@126.com

灾害事件发生, 最大限度地减少人员伤亡一直是应急管理的主要目标, 也是以人为本价值观的重要体现。本文以焦作市为例, 将市区分成 8 个风险区, 从人员、环境和应急救援能力 3 个方面确定脆弱性因子, 通过对脆弱性因子构造判断矩阵, 并由判断矩阵最大特征值对应的特征向量构造人员相对脆弱性矩阵, 然后用经验正交函数(EOF)方法分析突发事件人员脆弱性区域特征以及每个区域内各脆弱性因子的相对影响程度。

## 1 方法简介

经验正交函数(EOF)又称自然正交函数, 由于它在提取物理量场的信息特征方面具有极其显著的优点, 现已被广泛应用于多维数据场的分析当中。经验正交函数是一种有效的降维技术, 将变量场分解成若干个相互正交的典型模态的线性组合, 收敛速度快又能较好地反映出信息场的基本结构特征, 并有利于解释各分量的特征结构和物理意义<sup>[15]</sup>。

经验正交函数应用到城市人员脆弱性分析, 其基本思想是对于有  $m$  个区域  $n$  个影响因子构成的变量场, 将其分解为相互正交的特征向量, 并求出各特征向量的要素系数, 各模态的物理意义以及它们之间的差别可通过特征向量的荷载及其要素系数来解释。

由城市  $m$  区域和  $n$  个脆弱性因子和构成的矩阵可表示为:

$$F = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

对式(1)进行正交函数展开:

$$F_{ij} = \sum_{k=1}^m v_{ik} t_{kj} = v_{i1} t_{1j} + v_{i2} t_{2j} + \cdots + v_{im} t_{mj}, \quad (i = 1, \cdots, m; j = 1, \cdots, n), \quad (2)$$

将式(2)写成矩阵的形式为:

$$F = VT, \quad (3)$$

式中:  $V$  为  $m \times m$  阶的要素函数矩阵,  $T$  为  $m \times n$  阶的系数矩阵。

由式(3)可得:

$$FF' = VTT'V', \quad (4)$$

因  $FF'$  是  $m \times m$  阶对称阵, 根据实对称矩阵的分解定理有:

$$FF' = V\Lambda V', \quad (5)$$

式中:  $\Lambda$  是由  $FF'$  矩阵的特征值组成的对角阵;  $V$

是特征值对应的特征向量组成的矩阵。

比较式(4)和式(5)可知:

$$TT' = \Lambda, \quad (6)$$

又根据特征向量的性质有:

$$V'V = VV' = I, \quad (7)$$

式中:  $I$  为单位矩阵。特征向量的权重函数可利用式(3)左乘  $V'$  得到, 即

$$T = V'F, \quad (8)$$

进而得到矩阵  $F$  的特征值、特征向量  $V$  以及相应的要素系数  $T$ 。

## 2 因子的选择和相对脆弱性的确定

### 2.1 脆弱性因子的选择

现代城市在功能上都有明显的分区, 各个区域由于聚集的人群不同、防灾减灾水平不同、可能受到的威胁不同, 灾害发生后的救援困难程度也不一样, 因此, 城市各区域突发事件的脆弱性也不相同。从应急管理的角度出发, 结合城市功能, 可将城市分为 8 个典型风险区域: 住宅区、文教卫生区、行政区、商业区、工业区、休闲区、大型公共场所、交通区。其中大型公共场所是指人口流动性强的汽车站、火车站、影院、剧院、歌舞厅等, 虽然休闲区如公园等也属于城市中的大型公共场所, 但是两者区域环境、灾害的威胁度、人员的密度和构成等方面显著不同, 所以将其分为两个独立的风险区。

对城市各类突发公共事件, 人员脆弱性主要体现在 3 个方面(表 1), 第一是人员本身的脆弱性, 主要包括 3 个因子: 人员的安全知识、安全意识, 以及由应急逃生技能和自救互救能力组成的安全技能。第二是周围环境, 主要包括自然环境和社会环境两个部分。自然环境包括气候特征和地形地势两个因素, 它们决定着具有区域特征的自然灾害的发生, 如城市洪水、雷电等自然灾害等。社会环境主要包括人群密度、避难场所的布置、应急通道, 以及应急物资、消防设备和通讯设备的准备情况, 它们都在某种程度上决定着灾害对人员的威胁程度的大小。第三是针对突发事件的应急救援能力, 这也是影响人员脆弱性的主要方面。应急救援是减少突发事件造成人员伤亡的最主要方式, 应急救援能力的高低决定着突发事件人员的脆弱性大小。应急预案是为了科学的应急救援而提前制定的应对方案, 也是应急体制、机制是否合理的主要体现。应急预案是否科学合

理在一定程度上决定着应急救援的效果。应急救援需要救援力量,其骨干救援力量主要是指公安警察等力量,专业力量主要是指消防部队、防化部队、抢险抢修队等。另外突发事件预警、警戒与治安、紧急疏散、搜寻与救援、现场医疗救助也是决定突发事件人员脆弱性的主要方面。

表 1 突发事件人员脆弱性的主要影响因子

主要因素	影响因子
人员	安全知识
	安全意识
	安全技能
	地形地势
环境	气候特征
	人群密度
	应急通道
	避难场所
	应急物资
	消防设备
	危险的威胁度
应急救援	通讯设备
	应急预案
	骨干救援力量
	专业救援力量
	突发事件预警
	警戒与治安
	紧急疏散
搜寻与救援	
	医疗救助

## 2.2 相对脆弱性的确定

### 2.2.1 构造判断矩阵

以层次分析法的相对判别为基础,通过引入适当的判断标准,比较同一项脆弱性因子在不同风险区对人员脆弱性的相对影响程度,构建脆弱性判断矩阵。

设某元素  $A$  由  $B_i (i=1, \dots, m)$  个因子进行两两比较,构成一个  $m$  维方阵(表 2)。

表 2 脆弱性的判断矩阵

$A$	$B_1$	$B_2$	...	$B_m$
$B_1$	$B_{11}$	$B_{12}$	...	$B_{1m}$
$B_2$	$B_{21}$	$B_{22}$	...	$B_{2m}$
...	...	...	...	...
$B_m$	$B_{m1}$	$B_{m2}$	...	$B_{mm}$

相对比较结果仍然以美国运筹学家 Saaty 给出的打分标准为基础,不同分值之间的含义见表 3。

表 3 判断矩阵标度及其含义

标度	含义
1	两个因子比较,两者对人员脆弱性的影响相同
3	两个因子比较,前者对人员脆弱性的影响稍大
5	两个因子比较,前者对人员脆弱性的影响较大
7	两个因子比较,前者对人员脆弱性的影响非常大
9	两个因子比较,前者对人员脆弱性的影响极其大
2, 4, 6, 8	介于相邻判断值的中间
倒数	与上述判断相反( $B_{ji} = 1/B_{ij}$ )

### 2.2.2 计算矩阵的特征值和特征向量

根据上述判断矩阵  $A = (a_{ij})$ , ( $i=1, \dots, n$ ;  $j=1, \dots, m$ ), 计算矩阵的特征值和特征向量。根据正矩阵理论,该矩阵具有最大特征值  $\lambda_{\max} = m$ , 其它特征值为 0, 即具有唯一的最大特征值,并等于该矩阵的维数。然而在实际构造的判断矩阵中,由于需要人为的对各因子进行两两比较,很难满足上述情况,但是只要最大特征值的方差贡献大于 80%, 就表明在构造判断矩阵过程中,各元素的取值比较合理,反应的信息比较集中。否则就需要重新调整矩阵中各元素的取值,直到满足上述条件为止。计算最大特征值对应的特征向量:

$$F = (x_i), (i=1, \dots, m). \quad (9)$$

该特征向量就是各个因子对人员脆弱性的相对贡献大小。

### 2.2.3 构造相对脆弱性矩阵

如果有  $n$  个元素,就需要进行  $n$  次相对脆弱性判断,并有  $n$  个最大特征值所对应的特征向量 ( $F_j (j=1, \dots, n)$ ), 就可以构造一个  $m \times n$  维的相对脆弱性矩阵:

$$F = (F_1, F_2, \dots, F_n) = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

## 2.3 以焦作市为例构造脆弱性矩阵

以焦作市为例,从应急管理角度将焦作市划分为 8 个风险区,即住宅区、文教卫生区、行政区、商业区、工业区、悠闲区、大型公共场所、交通区。从 3 个方面(人员、环境和应急救援)确立 20 项人员脆弱性的影响因子。对突发事件人员相对脆弱性的判断有两种方式,一种是 20 项脆弱性因子在同一风险区内对人员脆弱性的影响程度做相互比较,另一种是同一项脆弱性因子在 8 个风

险区对人员脆弱性的影响做相互比较。对于同一风险区而言，由于20项脆弱性因子的衡量标准不一样，做出相对比较的可信度就会降低，然而，对于同一项脆弱性因子在8个区域内的相对影响程度做比较，其结果会比较科学合理。

对焦作进行全面调研，并结合焦作市最新统计资料<sup>[16]</sup>、“十一五”焦作市应急体系建设资料以及专家评分，构造判断矩阵，计算每个判断矩阵的特征值和特征向量，20个判断矩阵的最大特征值的方差贡献都在83%以上。然后由最大特征值对应的特征向量构成人员相对脆弱性矩阵。

### 3 结果分析

将焦作市公共安全突发事件人员相对脆弱性矩阵进行EOF分析，前5个特征向量的方差贡献及累计方差贡献百分比列于表4。第一特征向量的方差贡献为40.36%，大于其它各个特征向量的方差贡献，它体现了人员脆弱性变量场的主要信息特征。前3个特征向量的累积方差贡献大于89%，表明前3个特征向量基本涵盖了整个变量场的所有信息特征，第4个特征向量及以后的各特征向量的方差贡献均小于5%，说明它们基本上不包含变量场的信息特征，而更多的则是噪音成分。因此，对具有物理学意义的前3个模态进行分析。

表4 EOF分解前5个特征向量的方差及累计方差贡献 %

特征向量	1	2	3	4	5
方差贡献	40.36	30.21	19.07	4.49	3.71
累计方差贡献	40.36	70.57	89.64	94.13	97.84

图1为人员相对脆弱性EOF分解第一模态的分布特征，其中图1(a)的横坐标1~8分别代表8个典型区域：住宅区、文教卫生区、行政区、商业区、工业区、休闲区、大型公共场所、交通区。图1(b)的横坐标1~20分别代表20脆弱性因子：安全知识、安全意识、安全技能、地形地势、气候特征、人群密度、应急通道、避难场所、应急物资、消防设备、危险的威胁度、通讯设备、应急预案、骨干救援力量、专业救援力量、突发事件预警、警戒与治安、紧急疏散、搜寻与救援。纵坐标表示荷载值。

从图1a可以看出，第一特征向量的荷载值均为正值，表明突发事件人员脆弱性在焦作市的8个风险区均具有一定的普遍性。从8个特征向量的荷载分布可知，文教卫生区、商业区、工业区、大

型公共场所的人员脆弱性大于其他4个风险区。

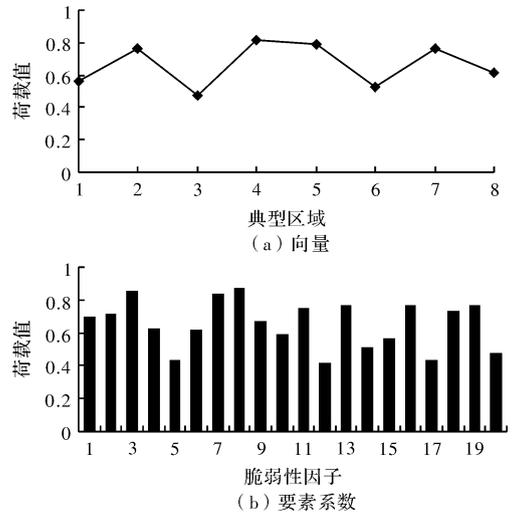


图1 第一特征

从第一特征向量对应的系数可以看出(图1b)，在20项脆弱性因子的荷载均为正值，表明每个脆弱性因子都对突发事件的人员脆弱性有一定的影响。但是有9项脆弱性因子的荷载值较大，表明这9项脆弱性因子对突发事件人员脆弱性影响程度普遍大于其他11个因子，它们分别是安全技能、应急通道、应急避难场所、危险的威胁度、应急预案、突发事件预警、紧急疏散和应急救援。

第一特征模态这种分布特征的物理意义在于，上述9项脆弱性因子在文教卫生区、商业区、工业区、大型公共场所对突发事件的人员脆弱的影响大于另外4个风险区。也就是说，文教卫生区、商业区、工业区、大型公共场所这些地方人口密度和人口流动量都很大，环境复杂，受危险威胁的程度较高，且预警落后，都是导致突发事件人员伤亡的薄弱环节。另外应急通道匮乏、缺乏应急疏散场所，应急预案不符合实际且没有经过演练，建筑密集且人口众多也给应急救援带来困难，都会增加突发事件造成的人员伤亡数量，使人员的脆弱性增加。

从第二特征向量的荷载分布可以看出(图2a)，在正向上有3个极大值，分别代表文教卫生区、商业区和大型公共场所3个风险区；有一个极小值为负值，为休闲区。这种分布形态表明：文教卫生区、商业区和大型公共场所对突发事件人员脆弱性上与休闲区表现为典型的反向变化，也就是说某些脆弱性因子如果在文教卫生区、商业区和大型公共场所对人员脆弱性的影响较大，那么在休闲区就对人员脆弱性的影响较小，反之亦然。

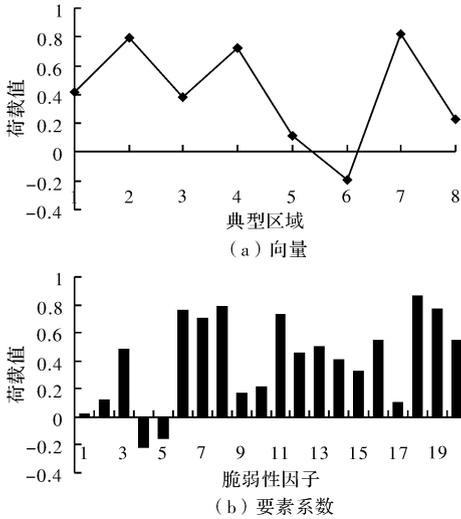


图2 第二特征

从第二特征向量对应的要素系数可以看出(图2b),有6个极大值,分别是人群密度、应急通道、避难场所、危险的威胁度、紧急疏散和搜寻与救援;同时还存在两个负的极小值,分别是地形特征和气候条件。

人员脆弱性 EOF 分解的第二模态可以解释为,人群密度、避难场所、危险的威胁度、紧急疏散和搜寻与救援6项脆弱性因子在卫生区、商业区和大型公共场所对人员脆弱性影响较大,而在休闲区则较小;地形特征和气候条件2项脆弱性因子则在休闲区对突发事件人员脆弱性影响较大,而在文教卫生区、商业区和大型公共场所对人员脆弱性影响较小。

城市的休闲区域如公园等地方,人口密度较小、相对比较空旷、通达性比较好,而且公园也往往被作为城市某些灾难的应急避难场所,受各类危险的威胁度也较低,当突发事件发生时也有利于人员的紧急疏散和搜寻救援,所以上述6项脆弱性因子在休闲区对人员脆弱性影响较小,但气候条件和地形地势所代表的自然因素在该区域则对人员脆弱性影响较大。但是,对文教卫生区、商业区和大型公共场所来说正好相反,在这些区域气候条件和地形地势对人员脆弱性影响较小,而人群密度、避难场所、危险的威胁度、紧急疏散和搜寻与救援6项脆弱性因子则对人员脆弱性影响较大。

图3为人员脆弱性经 EOF 分解第三模态的分布特征。从第三特征向量的荷载可以看出(图3a),人员脆弱性在住宅区和交通区表现出典型的反向变化,当住宅区的某些脆弱性因子对人员脆弱性影响较大时,在交通区则较小,反之亦然。

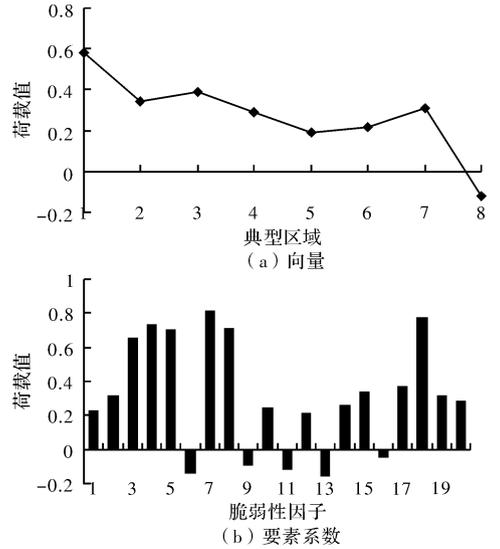


图3 第三特征

从第三特征向量相对应的要素系数(图3b)可以看出,有4个因子荷载值大于0.7,分别是地形地势、气候特征、避难场所和紧急疏散,它们在住宅区对人员脆弱性有较大影响,而在交通区对人员脆弱性的影响则较小。住宅区高楼林立、空间狭小、人口稠密,缺乏应急避难场所和疏散通道。在调查中发现,许多住宅区的应急通道往往被车辆占据,这都给应急疏散和救援带来困难,因此当灾害发生时,住宅区很容易发生更大的人员伤亡和经济损失。而交通区则相反,地形地势、气候特征等自然因素对人员影响较小,对中等城市的焦作来说交通事故的紧急疏散和避难因素对突发事件的人员脆弱性影响也较小。

从图3还可以看出,另有4个因子荷载值小于0,分别是人群密度、应急预案、应急物资和突发事件预警4项脆弱性因子。这4个因子的物理意义在于,在交通区对人员脆弱性的影响程度要大于住宅区。调研发现,交通区缺乏相应的预警系统和设备;虽然有应急预案,但是被调研乘客中没有一个人知晓预案的内容;应急物资缺乏,在2009年6月成都9路公交车燃烧事件发生之前,许多客车和公交车连应急逃生锤都没有,这些都影响着突发事件的人员脆弱性。

突发事件人员脆弱性的分析为城市人员脆弱性的防灾减灾提供思路,由 EOF 分解的第一模态可知,就整个城市而言,人口密度较大的文教卫生区、商业区、工业区、大型公共场所是城市防灾减灾重点区域,而重点要针对人员的安全技能、应急通道、应急避难场所、危险的威胁度、应急预案、突发事件预警、紧急疏散和应急救援这9个

方面加强治理,降低突发事件造成的人员伤亡。再如根据第三模态人员脆弱性的分布特征,减低突发事件人员脆弱性的减灾措施包括:对大型住宅区要加强自然灾害的防御;修建突发事件避难场所;扩建住宅区的应急通道,保证应急通道畅通。针对交通区域需要采取的相应减灾措施为,加强应急预案的评估、演练和宣传,保证应急预案的有效性;加强突发事件的预警,加大应急物资储备等。

## 4 结论

设计了一种基于相对脆弱性判断和经验正交函数分析的相对脆弱性研究方法。在构造判断矩阵基础上进一步构造人员脆弱性矩阵,并用 EOF 方法进行分析,将其分解为区域——影响因子的不同组合模态。以焦作市为例,从应急管理角度将城市划分为 8 个风险区:住宅区、文教卫生区、行政区、商业区、工业区、休闲区、大型公共场所、交通区;从人员、环境和应急救援 3 个方面确定了影响突发事件人员社会脆弱性的 20 项因子。以层次分析法的相对重要性判断为基础,分别对每个脆弱性因子在 8 个风险区对人员脆弱性的相对贡献大小进行评判,构造判断矩阵,计算矩阵的特征值和特征向量,如果最大特征向量的方差贡献大于 80%,则认为该矩阵构造的比较合理,否则就需要从新调整矩阵中元素的取值,直到满足条件为止。然后由每个判断矩阵最大特征值对应的特征向量构造人员相对脆弱性矩阵,并用 EOF 进行分析。对焦作市突发事件人员相对脆弱性分析结果如下:

(1) EOF 展开的第一模态表明, 20 项脆弱性因子在每个风险区对人员脆弱性均有一定的影响,其中安全技能、应急通道、应急避难场所、危险的威胁度、应急预案、突发事件预警、紧急疏散和应急救援 9 项因子对人员脆弱性的影响程度大于其他 11 项因子。并且这 9 项脆弱性因子在文教卫生区、商业区、工业区、大型公共场所对人员脆弱性的影响大于其他 4 个风险区。

(2) EOF 展开的第二模态表明, 人群密度、避难场所、应急通道、危险的威胁度、紧急疏散和搜寻与救援这 6 项因子在卫生区、商业区和大型公共场所对人员脆弱性影响较大,而在休闲区则较小;地形特征和气候条件这 2 个因子在文教卫生

区、商业区和大型公共场所对人员脆弱性的影响较小,而在休闲区对人员脆弱性影响则较大。

(3) EOF 展开的第三模态表现为地形地势、气候特征、避难场所和紧急疏散 4 项因子在住宅区对人员脆弱性影响较大,但在交通区则较小;人群密度、应急预案、应急物资和突发事件预警这 4 项脆弱性因子在交通区对人员脆弱性影响较大,而在住宅区则较小。

## 参考文献:

- [1] 关贤军,徐波,尤建新.城市风险的基本构成要素[J].灾害学,2008,23(1):128-131.
- [2] 原廷宏,张芝霞.陕西省城市灾害特征浅述[J].灾害学,2008,23(S0):5-6.
- [3] White G F, Haas J E. Assessment of research on natural hazards [M]. Cambridge MA: The MIT Press, 1975.
- [4] Fekete A. Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany [J]. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2009, 9: 393-403.
- [5] Adger W N. Social vulnerability to climate change and extremes in Coastal Vietnam [J]. World Development, 1999, 27(2): 249-269.
- [6] Ingrid Coninx, Kris Bacus. Integrating social vulnerability to floods in a climate change context [C]//International Conference on Adaptive and Integrated Water Management, Coping with Complexity and Uncertainty. Basel, 2007.
- [7] Christopher D, Chester D K. Human vulnerability in volcanic environments: the case of Furnas, São Miguel, Azores [J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1999, 92: 133-150.
- [8] 葛怡.洪水灾害的社会脆弱性评估研究——以湖南省长沙地区为例[D].北京:北京师范大学,2006.
- [9] 王瑛.中国农村地震灾害系统脆弱性分析及减灾对策[D].北京:北京师范大学,2004.
- [10] 李小云,董强,饶小龙,等.农户脆弱性分析方法及其本土化应用[J].中国农村经济,2007(4):32-39.
- [11] 喻小红.城市脆弱性的表现及对策[J].湖南城市学院学报,2007,28(3):96-98.
- [12] 杨立兵,程运材,杨海洋,等.企业应急管理脆弱性分析[J].中国安全科学学报,2008,18(4):76-81.
- [13] 张勤,高亦飞,高娜,等.城镇社区地震应急能力评价指标体系的构建[J].灾害学,2009,24(3):133-136.
- [14] 莫靖龙,夏卫生,李景保,等.湖南长株潭城市群灾害应急管理评价[J].灾害学,2009,24(3):137-140.
- [15] 马开玉,丁裕国,屠其璞,等.气候统计原理与方法[M].北京:气象出版社,277-287.
- [16] 焦作统计年鉴编辑部.焦作统计年鉴 2009 [M].北京:中国统计出版社,2009.